

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 06-160788

(43)Date of publication of application : 07.06.1994

(51)Int.Cl.

G02F 1/035

(21)Application number : 04-314692

(71)Applicant : MITSUBISHI ELECTRIC CORP

(22)Date of filing : 25.11.1992

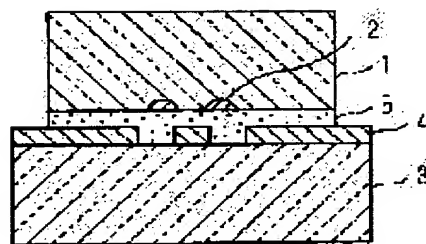
(72)Inventor : IMADA KATSUHIRO  
YOSHIARA KIICHI  
UCHIKAWA HIDEFUSA  
WATAI HISAO

## (54) OPTICAL MODULATOR

### (57)Abstract:

PURPOSE: To provide the optical modulator which is low in driving voltage and is small in light insertion loss.

CONSTITUTION: An optical waveguide forming substrate 1 formed with optical waveguides 2 having an electrooptical effect and an electrode forming substrate 3 formed with a film-like superconducting electrode 4 consisting of an oxide superconductor are so fixed in proximity that the optical waveguides 2 and the electrode 4 face each other. The distance between the optical waveguides 2 and the oxide superconducting electrode 4 is set at  $\leq 20\mu\text{m}$ . The surface of the optical waveguides 2 in proximity to the oxide superconducting electrode 4 is so formed as to come into contact with a material having the light refractive index lower than the light refractive index of the optical waveguides 2 or atm. layer.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 25.06.1997

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 2868046

[Date of registration] 25.12.1998

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平6-160788

(43)公開日 平成6年(1994)6月7日

(51)Int.Cl.<sup>5</sup>

G 0 2 F 1/035

識別記号

Z A A

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数3(全 8 頁)

(21)出願番号 特願平4-314692

(22)出願日 平成4年(1992)11月25日

(71)出願人 000006013

三菱電機株式会社

東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

(72)発明者 今田 勝大

尼崎市塚口本町8丁目1番1号 三菱電機  
株式会社材料デバイス研究所内

(72)発明者 吉新 喜市

尼崎市塚口本町8丁目1番1号 三菱電機  
株式会社材料デバイス研究所内

(72)発明者 内川 英興

尼崎市塚口本町8丁目1番1号 三菱電機  
株式会社材料デバイス研究所内

(74)代理人 弁理士 高田 守

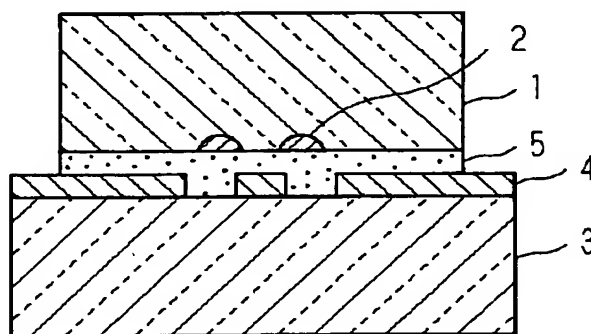
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光変調器

(57)【要約】

【目的】 駆動電圧が低く、かつ光挿入損失の小さな光変調器を得る。

【構成】 電気光学効果をもつ光導波路2が形成された光導波路形成基板1と、酸化物超電導体からなる膜状の超電導電極4が形成された電極形成基板3を、光導波路2と電極4が対向するように、接近して固定する。また、光導波路2と酸化物超電導電極4との距離を20 $\mu$ m以下に構成する。また、酸化物超電導電極4と近接する光導波路2の表面が光導波路2よりも光屈折率の低い物質または大気層と接するようにした。



- 1 : 光導波路形成基板
- 2 : 光導波路
- 3 : 電極形成基板
- 4 : 酸化物超伝導電極
- 5 : 接着層

## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 電気光学効果を有する光導波路が形成された光導波路形成基板と、酸化物超電導電極が形成された電極形成基板とを備え、上記光導波路が形成された面と上記電極が形成された面が対向するように、上記光導波路形成基板と上記電極形成基板が近接して固定されている光変調器。

【請求項2】 光導波路と酸化物超電導電極との距離が $20\mu\text{m}$ 以下に近接して固定されていることを特徴とする請求項第1項記載の光変調器。

【請求項3】 酸化物超電導電極と近接する光導波路の表面が、上記光導波路よりも光屈折率の低い物質または大気層と接するようにしたことを特徴とする請求項第1項記載の光変調器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【産業上の利用分野】 この発明は、光通信における外部光変調器、特に酸化物超電導体からなる変調電極を有する光変調器に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】 光通信システムの伝送速度の高速化及び大容量化に伴い、光変調の高周波化が必要となり、高周波光変調方式が検討されてきている。この方式は、大別して半導体レーザーによる直接変調方式と、LiNbO<sub>3</sub>（以下LN）などの電気光学結晶を用いた光変調器による外部変調方式に分けられる。半導体レーザーによる直接変調方式は、発振レーザー光自体を高周波変調し、変調レーザー光を取り出す方式で、その周波数限界は現在のところ十数GHzまで伸びてきてはいるが、周波数チャーピングという本質的に避けられない問題点がある。周波数チャーピングは、強度変調の際に周波数が広がる現象で、高周波域で特に問題となる。そこで、周波数チャーピングのない外部変調方式が見直されつつある。この分野の従来技術については、例えばO plus E, 1991年7月号, 第104頁等に記載されている。

【0003】 従来、外部変調方式で用いられる代表的なLN光変調器においては、高速化及び大容量化のために高周波を用いて変調を行う場合、新たな問題点が生じることが避けられなかった。それは、変調効率（変調度）が低下し、伝搬損失が大きくなることと、大きな変調電力（変調器の駆動電圧）を必要とすることである。特に後者の問題は、新たに駆動用高電圧制御素子を開発しなければならない点及びその高電圧制御システムの信頼性が低い点などで、光通信システム構築の大きな障害となっている。しかし、現在までに報告されている光変調器において、実現できている駆動電圧の低減及び変調効率の向上は、まだ満足できるレベルには達していない。即ち、外部変調方式による光変調器を実用・普及化させるために、一層の駆動電圧の低減・高変調効率が必要にな

る。

【0004】 このため、光変調器電極の表面抵抗を下げ、高周波の伝搬損失を抑制する必要がある。そこでこの発明者らは以前に、変調電極として電気光学結晶上に超電導膜で形成した光変調器を提案した。図7は従来の光変調器を示す断面図である。図において、1は光導波路形成基板、2は光導波路形成基板1に形成した光導波路、4は電極であり、蒸着法、スパッタ法、化学気相蒸着法等の成膜方法により、電気光学効果を有する光導波路2が形成された基板1上に形成した酸化物超電導膜である。

## 【0005】

【発明が解決しようとする課題】 従来の光変調器において、蒸着法、スパッタ法、化学気相蒸着法等の成膜方法により、電気光学効果を有する光導波路2が形成された基板1上に酸化物超電導膜4を形成しても、期待したほどの光変調の性能向上が得られない場合がある。その原因としては次のことが考えられる。即ち、上記薄膜形成法のいずれの場合でも、成膜時に基板温度を $500\sim 900^{\circ}\text{C}$ と高温で数時間保持するため、光導波路2中の元素が蒸発したり、超電導膜4中の元素と反応する。このために、光導波路2の光伝搬損失が増大したり、伝搬モード数が増加することを光強度測定器と赤外線カメラを用いて確認した。

【0006】 この発明は、かかる問題点を解決するためになされたもので、高周波の伝搬損失の低い超電導電極を用いることにより低い電圧で駆動できると共に、光挿入損失の小さい光変調器を得ることを目的としている。

## 【0007】

【課題を解決するための手段】 請求項1の発明に係る光変調器は、電気光学効果を有する光導波路が形成された光導波路形成基板と、酸化物超電導電極が形成された電極形成基板とを備え、光導波路が形成された面と電極が形成された面が対向するように、光導波路形成基板と電極形成基板が近接して固定されているものである。

【0008】 また、請求項2の発明に係る光変調器は、請求項1に発明に加えて、光導波路と酸化物超電導電極との距離が $20\mu\text{m}$ 以下に近接して固定されているものである。

【0009】 また、請求項3の発明に係る光変調器は、請求項1に発明に加えて、酸化物超電導電極と近接する光導波路の表面が光導波路よりも光屈折率の低い物質または大気層と接するようにしたものである。

## 【0010】

【作用】 上記のように構成された光変調器では、光導波路は高温超電導薄膜形成に必要とされる $500^{\circ}\text{C}$ 以上の高温プロセスを経ることなく製造できるため、光損失の増加はほとんどない。また、超電導形成基板に高温超電導体のエピタキシャル成長に適するMgOなどの単結晶基板が使用できるため、従来のLN基板上に形成する場

合より超電導特性が向上し、表面抵抗が低下する効果により変調効率は向上する。

【0011】また、これに加えて光導波路と酸化物超電導電極との距離を $20\mu\text{m}$ 以下に近接しているの、電極の生じる電界がなるべく高くなる。

【0012】またさらに、酸化物超電導電極と近接する光導波路の表面が光導波路よりも光屈折率の低い物質または大気層と接しているの、光挿入損失を小さな値に抑える。

【0013】

【実施例】

実施例1. 図1はこの発明の実施例1による光変調器を示す断面図である。図において、1は光導波路形成基板、2は光導波路形成基板1に形成した光導波路、3は電極形成基板、4は電極形成基板3に形成した電極、5は接着層で、例えば紫外線硬化樹脂である。また、図2は実施例1に係る電極形状を示す平面図であり、上方向からの形状を示している。図において、8は変調信号入力部、9は変調信号終端部である。また、図3は実施例1による光変調器を上方向より透視して見た平面図である。図において、6は光入力部であり、7は光出力部である。

【0014】電気光学効果を有する光導波路2としてx-cut、y伝搬のTi拡散LN導波路を作成して用いた。この作成は、まず両面光学研磨されたLN結晶による光導波路形成基板1の片面に、幅 $6\mu\text{m}$ 、膜厚 $50\text{nm}$ のTi薄膜を電子線蒸着法及びリフトオフ法で形成後、アルゴン雰囲気中で $1050^\circ\text{C}$ 、10時間熱処理してTiをLN中に拡散させる手順で行った。図3の上面図に示すように、光導波路2には長さ $20\text{mm}$ 、幅 $40\mu\text{m}$ のマッハツェンダ干渉部分2aを設けた。

【0015】超電導電極形成基板3にはMgO単結晶を用いた。超電導電極4は、まずY-Ba-Cu-O系超電導薄膜をY、Ba、Cuの金属元素比が約1:2:3となるように反応性蒸着法により形成後、希硝酸を用いたウェットエッチング法で電極形状に加工して形成した。ここで超電導薄膜は、基板付近にノズルから部分的にオゾン化された酸素ガスを導入し、基板温度 $700^\circ\text{C}$ 、蒸着速度 $4\text{nm}/\text{min}$ 、膜厚 $0.5\mu\text{m}$ の条件で形成した。電極形状は図2に示すような中心線幅 $30\mu\text{m}$ 程度、ギャップ幅 $40\sim 110\mu\text{m}$ のコプレーナ型の進行波電極とした。変調電源とのインピーダンス整合をとるため、以下に述べる光変調器の各構造にあわせてギャップ幅のサイズを調整した。なお、LN基板1の幅は $6\text{mm}$ 、長さ $40\text{mm}$ 、MgO基板3は幅 $10\text{mm}$ 、長さ $20\text{mm}$ のものを使用した。この様に幅と長さを変えた基板1、3を使用したため、図3のような配置で張り合わすことにより、光導波路2と電極4の光入力部6、

光出力部7に張り合わせられない部分があり、電極4とコネクタとの接続や光導波路2と光ファイバの接続が容易となる。

【0016】光導波路形成基板1と電極形成基板3は、マスクアライナと紫外線硬化樹脂を用いて以下のように接着した。まず、無地のガラスマスクの下側に光導波路形成基板1を有機材料で接着する。この時、有機材料として、約 $70^\circ\text{C}$ で軟化する透明なものを用い、光導波路2側が下になるように接着する。次に、マスクアライナの基板ステージに紫外線硬化樹脂を滴下した電極形成基板3を電極4側が上になるように置く。ここで用いた紫外線硬化樹脂の光屈折率は $1.5\sim 1.7$ であり、Ti拡散LN光導波路の光屈折率約 $2.3$ に比べて小さい。光導波路形成基板1は両面光学研磨であるため、マスクアライナの光学顕微鏡を用いて光導波路2と電極4の位置を合わせることができる。図3の様に光導波路2のマッハツェンダ干渉部分2aに超電導電極4部の中心線に沿って挟まれる様に両基板1、3を密着させ、紫外線を照射して樹脂を硬化させて接着する。この様にして接着された二枚の基板1、3に挟まれた紫外線硬化樹脂5の厚みは、断面を電子顕微鏡により観察した結果、 $2\mu\text{m}$ 程度であった。この光変調器の光導波路2の端面の光入力部6と光出力部7に光ファイバを接続し、また、変調信号入力部8と変調信号終端部9にコネクタを接続した。

【0017】比較例として、上記変調器(以下A)と全く同じ構造を持ち、電極材料としてA1を用いたもの(以下B)を作成した。また、図7の様な従来の構造であるLN基板1に電極4を直接形成した光変調器で、電極4としてYBCO超電導膜を用いたもの(以下C)と、A1電極を用いたもの(以下D)も作成した。B及びDのA1電極は、基板を加熱しないで高真空蒸着した厚み $3\mu\text{m}$ のA1膜をリソグラフィプロセスで加工して形成した。電極形状はいずれも図2に示すようなコプレーナ伝送路型とした。

【0018】以上のA～Dの光変調器を液体窒素温度に冷却し、光挿入損失及び $100\text{ps}$ の矩形パルスを入力した場合の半波長電圧と出力される変調光の形状を測定した。この結果を表1と図4に示す。光源としては波長 $1.3\mu\text{m}$ の半導体レーザを使用し、出力側では偏光子を用いてTEモードの導波光のみ検出した。表1はA～Dの光変調器における光挿入損失(dB)と半波長電圧(V)を示すものであり、図4は横軸を時間(ps)、縦軸を光強度(任意単位)とした時のA～Dの光変調器における特性を示すグラフである。

【0019】

【表1】

	光挿入損失 (dB)	半波長電圧 (V)
光変調器A	6.1	5.1
光変調器B	6.3	11.1
光変調器C	22.4	6.7
光変調器D	7.2	10.7

【0020】これらの光変調器の光挿入損失はA、B、Dで6～7 dBとほぼ同程度であるのに対し、Cでは22 dB以上と極めて大きかった。これはCでは光導波路2がYBCO超電導薄膜の形成プロセスにさらされたため、劣化が生じたと考えられる。半波長電圧は実施例1であるAが最も低く、低電圧での駆動が可能であることが分かった。また、図4に示すように、出力される変調光の波形は超電導電極を用いたAとCに比べて、A1電極のBとDでは立ち上がり、立ち下がりでのなまりが大きい。これは超電導電極の方が伝搬損失が小さく、また周波数分散も小さい効果による結果である。

【0021】また、この実施例の光変調器Aでは光導波路と電極の間隔は2 μmであるが、その間隔を5 μm、10 μm、20 μmとした光変調器も試作した。これらの半波長電圧はそれぞれ、8.1 V、11.2 V、16.5 Vであった。従って、光導波路形成基板1と電極形成基板3の距離を20 μm以上にすると、光導波路2にとどく電極4からの電界が極めて小さくなるため、光変調効率が著しく低下することが分かった。この間隔と半波長電圧の関係は電極形状にも依存すると考えられ、平面電極を用いた場合20 μmを越えると、低損失の超電導電極4を用いる効果が小さくなることを確認した。

【0022】上記のように、この実施例による光変調器では、光導波路は高温超電導薄膜形成に必要とされる500℃以上の高温プロセスを経ることなく製造できるため、光損失の増加はほとんどない。また、超電導形成基板に高温超電導体のエピタキシャル成長に適するMgOなどの単結晶基板が使用できるため、従来のLN基板上に形成する場合より超電導特性が向上し、表面抵抗が低下する効果により変調効率は向上する。

【0023】実施例2。図5はこの発明の実施例2に係る電極形状を示す平面図である。この実施例では、電気光学効果を有する光導波路2として、両面光学研磨されたz-cut、LN基板1の片面の表面に、x伝搬のTi拡散LN導波路を作成して用いた。光導波路は単純な一本の直線とした。また光導波路2を形成した面上に厚み0.5 μmのMgO膜を蒸着した。電極は光学研磨されたMgO基板3の片面に厚み0.6 μmのEr-Ba-Cu-O（以下EBCO）系超電導膜4をスパッタ法

で形成し、これを図5のようなコプレーナ伝送線路より構成される共振型の超電導電極に加工して形成した。ショータイングストラップ部10は、厚み0.3 μmのSiO<sub>2</sub>膜と厚み1 μmのAl膜から構成され、蒸着とリフトオフ法で加工して形成した。

【0024】光導波路形成基板1と電極形成基板3は、実施例1と同様にマスクアライナと紫外線硬化樹脂5を用いて接着した。まず、無地のガラスマスクの下側に光導波路形成基板1を有機材料で接着する。この有機材料は約70℃で軟化する透明なものを用い、光導波路2側が下になるように接着する。次に、マスクアライナの基板ステージに、光導波路2よりも光屈折率の小さい紫外線硬化樹脂5を滴下した電極形成基板3を、電極4が上になるように置く。直線光導波路2が超電導共振電極4の中心線のエッジ部に沿う様に両基板1、3を密着させ、紫外線を照射して、樹脂を硬化させて接着層5とする。この光変調器の光導波路2の端面の光入力部6と光出力部7に光ファイバを接続し、変調信号入力部8と変調信号終端部9に高周波用コネクタを接続した。

【0025】比較例として上記変調器（以下P）と全く同じ構造を持ち、電極4の材料としてAlを用いたもの（以下Q）を作成した。また、従来の構造であるLN基板1にバッファ層を形成し、その上に電極4を形成した光変調器で、電極としてEBCO超電導膜を用いたもの（以下R）と、Al電極を用いたもの（以下S）も作成した。なお、RとSのバッファ層はPと同じ厚み0.5 μmのMgO膜とした。P及びRのAl電極は、基板を加熱しないで高真空蒸着した厚み3 μmのAl膜をリソグラフィプロセスで加工する方法で形成した。電極形状はいずれも図5に示すようなコプレーナ伝送路から構成される共振型とした。

【0026】これらの光変調器を液体窒素温度に冷却し、ネットワークアナライザを用いて電極の反射特性を評価した。これらの共振周波数（GHz）、反射損失（dB）、及びQ値を表2に示す。共振周波数はいずれも約10 GHzであったが、反射損失とQ値はAl電極を用いたQとSに比べて、超電導電極を使用したPとRは大きな値となった。これは、超電導電極が常伝導のAl電極に比べて10 GHzでの導体損失が小さいためと

考えられる。とくにPでは超電導形成に適するMgO基板を使用したため、電極部の損失が極めて小さくなったと考えられ、Q値は480と非常に大きい。

【0027】

【表2】

	共振周波数 (GHz)	反射損失 (dB)	Q値
光変調器P	10.4	38	480
光変調器Q	10.6	13	11
光変調器R	10.8	21	90
光変調器S	10.1	16	19

【0028】次に光挿入損失 (dB) と光変調特性を評価した。光挿入損失は光源として波長  $1.3 \mu\text{m}$  の半導体レーザーを使用し、入力光と出力光の強度を光パワーメータで比較する方法で測定した。また光変調特性は、コネクタから共振周波数の変調マイクロ波を入力し、変調された光を反射率99%で構成されるファブリペロ干涉計に通じて、その変調深さを求める方法で評価した。その結果から、 $\pi \text{ rad}$  の位相変化させるための変調電力 (mW) を計算した。これらの結果を表3に示す。R

では光導波路上にバッファ層を形成しているものの、高温の超電導薄膜形成プロセス中に光導波路から少量のLiイオンがバッファ層や超電導電極中に拡散するため、屈折率が変化し、光損失が18.8dBと大きくなった。一方、この実施例の構造によるPでは、小さな光挿入損失と低い変調電力を実現できることが確認された。

【0029】

【表3】

	光挿入損失 (dB)	変調電力 (mW)
光変調器P	5.9	23
光変調器Q	5.6	310
光変調器R	18.8	90
光変調器S	6.1	240

【0030】実施例3. 光導波路形成基板1と電極形成基板3を直接紫外線硬化樹脂5によって接着した場合において、TMモード光の挿入損失が大きくなることがしばしば観察された。とくに光導波路2と電極4の密着を高めた場合にその傾向が見られた。その原因は光導波路2と電極4が近接しすぎたため、光導波路2中のTMモード光の電界が電極4中に散乱したためと推測される。このような光導波路2よりも光屈折率の大きい物質や電極4などの導体が接すると、TMモードの光の減衰が大きくなることはよく知られている。そこで光導波路2の表面に光導波路2よりも光屈折率の低い物質、または大気層が接するようにして、光導波路形成基板1と超電導電極形成基板3を近接させて固定した。

【0031】実施例3として超電導電極4と光導波路2との間に大気層を形成した光変調器Xと、比較例として電極4と光導波路2を密着させた光変調器Yを試作し

た。図6(a), (b)はX, Yを示す断面図である。図において、11は大気層、12はレジストである。超電導電極形成基板3としては、実施例1と同様、MgO単結晶基板にYBCOの電極を形成したものをを用いた。光導波路形成基板1としては、実施例2と同様、 $z\text{-cut}$ のLN上に一本の直線上のTi拡散光導波路を形成したものをを用いたが、実施例2と異なり光導波路形成基板1上にはMgO膜を形成しなかった。

【0032】光変調器Xの作成手順としては、まず、リソグラフィプロセスにより、光導波路形成基板1上の光導波路2が形成されていない部分に一定膜厚のレジスト膜12を残す。この後、実施例2と同様の手法により光導波路形成基板1と電極形成基板3を接着した。なお、使用したTi拡散LN光導波路2はLN基板面に対して約50nm程度の凸部となっていたため、レジスト12の膜厚はその値より充分大きくなるように約 $1.2 \mu\text{m}$

とした。また、基板1、3を密着して接着する際に紫外線硬化樹脂5が光導波路2に接しないように注意して作成した。比較例のYにおいても光導波路2と電極4を充分密着させた際に、紫外線硬化樹脂5がその間に挟み込まれないように注意して接着した。

【0033】試作した光変調器について実施例1と同様の光挿入損失(dB)とパルス電圧を用いた変調電圧(V)を評価した。ただし、光の位相が変調されるため、変調光はファブリペロ干渉計を通して検出した。その結果を表4に示す。いずれも同様に低い損失の超電導電極を用いたため、光の位相を $\pi$ rad変調させる電圧

	光挿入損失(dB)	変調電圧(V)
光変調器X	5.4	5.6
光変調器Y	14.5	4.7

【0035】なお、上記実施例3においては、光導波路2の上のレジスト12を除去したため、光導波路2には大気層11が接している。しかし、レジスト12を除去しない場合にも、レジスト12の光屈折率が光導波路2の屈折率よりも小さい場合に効果があることを確認している。また、光屈折率が光導波路2に比べて小さければ、無機材料を用いても良好な特性が得られることを確認している。即ち、酸化物超電導電極4と近接する光導波路2の表面が光導波路2よりも光屈折率の低い物質または大気層と接する構造であれば、光挿入損失を小さな値に抑えることができる。

【0036】なお、上記実施例はY-Ba-Cu-O系あるいはEr-Ba-Cu-O系超電導電極の場合であるが、他の形成プロセス温度が500℃以上となる超電導電極、例えばBi-Sr-Ca-Cu-O系等でもよく、上記実施例と同様な効果を発揮する。

【0037】また、電気光学効果のある光導波路のなかで、高温プロセスにより光伝搬特性が劣化するもの、例えば非線形光学効果を有する有機材料であってもよく、上記実施例と同様な効果を発揮する。

【0038】また、酸化物超電導電極4は、その一部が光導波路2と近接していれば、ストリップラインやマイクロストリップ等の他の平面電極形状であってもよい。特に電極4と光導波路2の距離が20μm以下であれば、上記実施例と同様の良好な効果を発揮する。

【0039】また、電極形成基板と光導波路形成基板の固定は、接着層5を用いずにネジなどを用いて機械的に行ってもよく、上記実施例と同様な効果を発揮する。

【0040】また、電極形成基板3と光導波路形成基板1を張り合わせる前に、一方または両方の基板上に誘電体膜などを形成しても、電極と光導波路の間隔が20μm以下であればよく、上記実施例と同様な効果を発揮する。

はいずれも低い値である。Yのほうがこの実施例Xに比べて多少低い値となったのは、Yのほうが電極4と光導波路2の距離が小さく、光導波路2中の変調マイクロ波の電界密度が高まったためと考えられる。しかしながらYでは光導波路2と電極4が密着したため、光挿入損失は大きな値となり実用上問題があることが分かった。従って、この実施例のように光導波路2の上に大気層11を形成することが、光挿入損失を小さな値に抑えるのに有効であることが分かった。

【0034】

【表4】

【0041】

【発明の効果】以上のように、請求項1の発明によれば、電気光学効果を有する光導波路が形成された光導波路形成基板と、酸化物超電導電極が形成された電極形成基板とを備え、光導波路が形成された面と電極が形成された面が対向するように、光導波路形成基板と電極形成基板が近接して固定することにより、低い電圧で駆動できると共に、光挿入損失の小さい光変調器が得られる効果がある。

【0042】また、請求項2の発明によれば、請求項1の発明に加え、光導波路と酸化物超電導電極との距離が20μm以下になるように近接して固定することにより、電極の生じる電界を高くできる光変調器が得られる効果がある。

【0043】また、請求項3の発明によれば、請求項1の発明に加え、酸化物超電導電極と近接する光導波路の表面が光導波路よりも光屈折率の低い物質または大気層と接するようにしたことにより、光損失を小さな値に抑えることができる光変調器が得られる効果がある。

【図面の簡単な説明】

【図1】この発明の実施例1による光変調器を示す断面図である。

【図2】実施例1による光変調器に係る電極形状を示す平面図である。

【図3】実施例1による光変調器を上方向から透視して見た平面図である。

【図4】実施例1と比較例の光変調器において、出力された変調光の強度の時間変化を示すグラフである。

【図5】実施例2による光変調器に係る電極形状を示す平面図である。

【図6】この発明の実施例3と比較例による光変調器を示す断面図である。

【図7】従来の光変調器を示す断面図である。

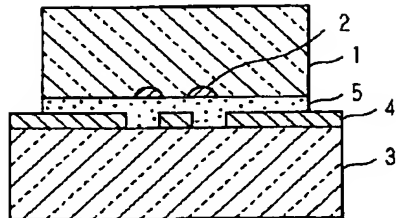


## 【符号の説明】

- 1 光導波路形成基板  
2 光導波路  
3 電極形成基板

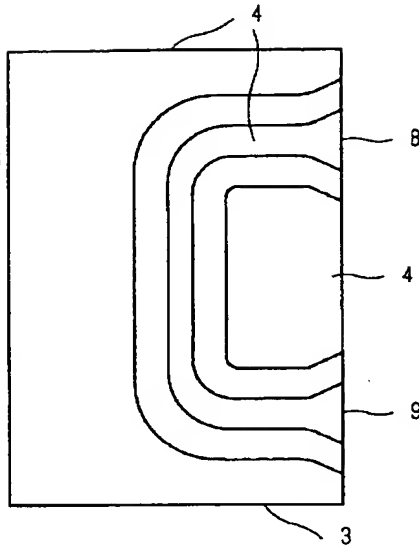
- 4 酸化物超電導電極  
5 接着層  
11 大気層

【図1】

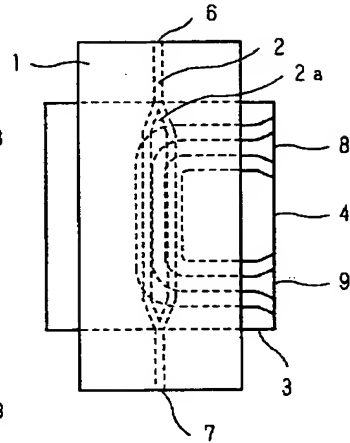


- 1: 光導波路形成基板  
2: 光導波路  
3: 電極形成基板  
4: 酸化物超電導電極  
5: 接着層

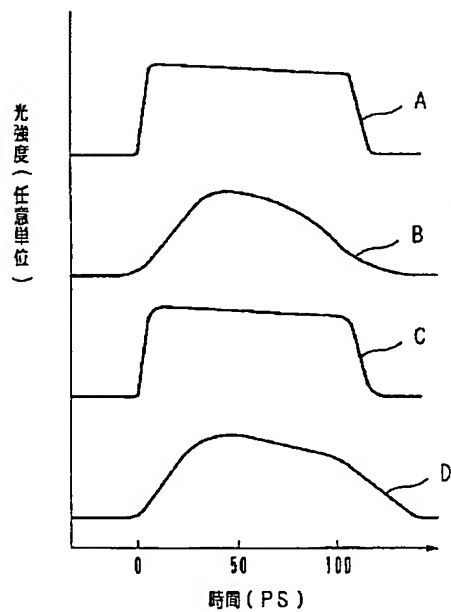
【図2】



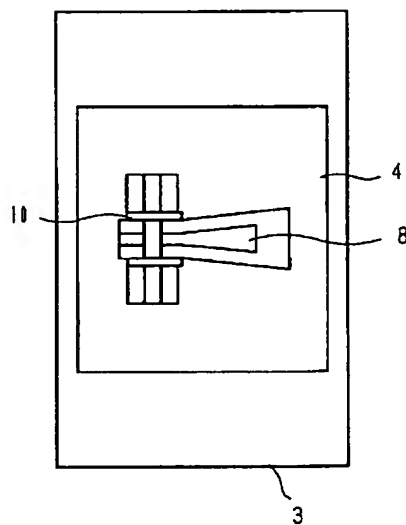
【図3】



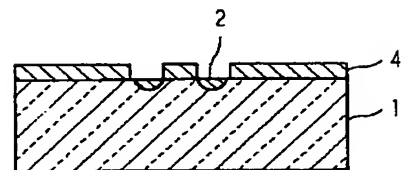
【図4】



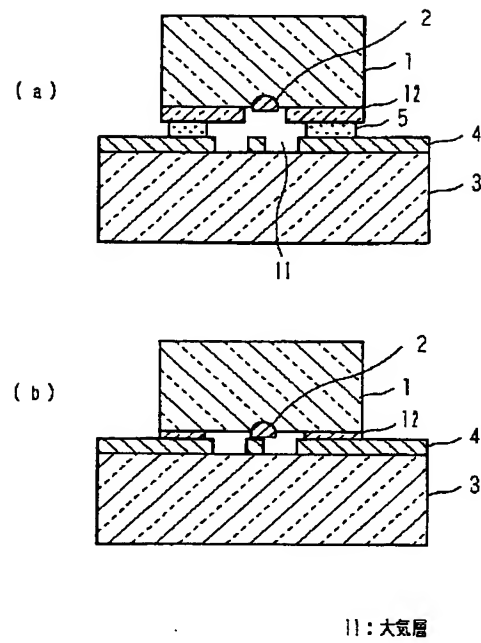
【図5】



【図7】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 渡井 久男

尼崎市塚口本町8丁目1番1号 三菱電機  
株式会社材料デバイス研究所内